

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-035680

(43)Date of publication of application : 07.02.1997

(51)Int.Cl.

H01J 43/20

(21)Application number : 07-184022

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 20.07.1995

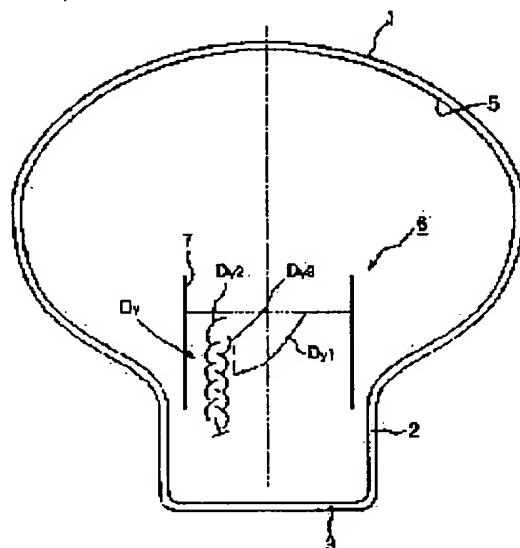
(72)Inventor : KUSHIMA HIROYUKI
 OMURA TAKAYUKI
 NAKAMURA KOJI
 KIMURA SUENORI
 OHASHI YOSUKE
 ITO MASUYASU

(54) PHOTOMULTIPLIER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To retard the generation of a pre-pulse by forming a second step dynode facing a first step dynode with a material having such a property that secondary electrode irradiating ratio to applied voltage is almost saturated in an electron multiplier part of a photomultiplier.

SOLUTION: A photomultiplier receives incident light with a photo-electric cathode 5 to irradiate a photo-electron, and sequentially cascade-multiplies irradiated photo-electron with a plurality of dynodes Dy in an electron-multiplier part 6. In the electron-multiplier part 6, a second step dynode Dy2 in which a photo-electron irradiated from a first step dynode Dy1 is formed with a material having such a property that secondary electron irradiating ratio to applied voltage is almost saturated. This material is either one of Al, Cu, Be, Ni, Fe, Mo, W, and stainless steel. The photomultiplier capable of retarding the generation of prepulse is obtained.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

09.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3618013

[Date of registration]

19.11.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the photomultiplier tube equipped with the photoelectric cathode which emits a photoelectron in response to the light which carries out incidence, and the electron multiplier which carries out cascade multiplication of said emitted photoelectron to order. Said electron multiplier The 1st step dynode in which the photoelectron emitted from said photoelectric cathode carries out incidence, It is the photomultiplier tube which the electron emitted from said 1st step dynode is equipped with the 2nd step dynode which carries out incidence, and is characterized by said 2nd step dynode having the property that the secondary-electron-emission ratio to applied voltage is saturated mostly.

[Claim 2] Said 2nd step dynode is the photomultiplier tube according to claim 1 characterized by being formed with one of the quality of the materials among aluminum, Cu, Be, nickel, Fe, Mo, W, and stainless steel.

[Claim 3] Said 2nd step dynode is the photomultiplier tube according to claim 1 characterized by coming to form a thin film according to one of the quality of the materials among aluminum, C, Cr, Fe, Zn, nickel, and W on a conductive substrate.

[Claim 4] The photomultiplier tube according to claim 1 to 3 whose potential difference between said 1st step dynodes and 2nd step dynodes at the time of use is more than 200V.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the photomultiplier tube which carries out multiplication of the photoelectron which carries out incidence by two or more steps of dynodes.

[0002]

[Description of the Prior Art] In such electron multipliers (JP,58-41622,B etc.), when detecting a laser pulse and operating the photomultiplier tube in pulse detection mode, a preliminary pulse small just before the output pulse (Maine pulse) to a signal is detected may be detected. This preliminary pulse is called PURIPARUSU and has become one of the causes which worsens TTS (Transit Time Spread).

[0003] Conventionally, the cause of generating of this PURIPARUSU was considered as follows (drawing 4). If pulsed light carries out incidence to the photomultiplier tube 100, it will be changed into an electron in photoelectric cathode 101, Orbit a will be progressed, and it will collide with the 1st step dynode Dy1. If the diameter of a photo-multiplier 100 is made into 8 inches, this electron will run from the photoelectric cathode 101 to the 1st step dynode Dy1 in about 21ns. The electron which collided with the 1st step dynode Dy1 generates a secondary electron here. In the electron multiplier 102 after the 2nd step dynode Dy2, multiplication of the generated secondary electron is carried out one after another, and it is outputted as a Maine pulse mentioned above.

[0004] On the other hand, it was thought that PURIPASURU was generated because the pulsed light which carried out incidence penetrates photoelectric cathode 101. In this case, in order to progress Orbit b (rectilinear propagation) as a photon, it runs from the photoelectric cathode 101 to the 1st step dynode Dy1 in about 0.44ns. And it collides with the 1st step dynode Dy1 as a photon, and a secondary electron is generated here. In the subsequent electron multipliers 102, multiplication of the generated secondary electron is carried out one after another, and it is outputted as PURIPARUSU.

[0005] PURIPARUSU generated according to such a cause will appear 20.56ns before the Maine pulse.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Then, generating of PURIPARUSU was not able to be controlled, although the cure of shading was taken that photoelectric cathode 101 should be penetrated and the photon which carries out incidence to the 1st step dynode Dy1 directly should be removed in order to reduce such PURIPARUSU.

[0007] This invention is made that such a technical problem should be solved, and that purpose is to offer the photomultiplier tube which can control generating of PURIPARUSU based on this cause of generating while specifying the cause of generating of this PURIPARUSU.

[0008]

[Means for Solving the Problem] So, with the photomultiplier tube concerning claim 1, the 2nd step dynode from which a photoelectron serves as the next step of the 1st step dynode which carries out incidence among the photomultiplier tubes equipped with the electron multiplier which carries out cascade multiplication of the photoelectron emitted from photoelectric cathode is formed with the quality of the material of the property that the secondary-electron-emission ratio to applied voltage is saturated mostly.

[0009] In addition, it is in the inclination for a secondary-electron-emission ratio to also increase so that the energy of the electron which carries out incidence to a dynode usually increases, but also when the electron of big energy carries out incidence of the above-mentioned "property with which a secondary-electron-emission ratio is saturated mostly", it means the property that a secondary-electron-emission ratio does not change a lot.

[0010] In the photomultiplier tube concerning claim 2, as the quality of the material which has such a

property, aluminum, Cu, Be, nickel, Fe, Mo, W, and stainless steel are mentioned, and the 2nd step dynode is formed with one of the quality of the materials among these.

[0011] Forming a thin film according to one of the quality of the materials among aluminum, C, Cr, Fe, Zn, nickel, and W on a conductive substrate constitutes the 2nd step dynode of the above-mentioned property from the photomultiplier tube concerning claim 3.

[0012] In the photomultiplier tube concerning claim 4, the potential difference between the 1st step dynode and the 2nd step dynode is used as more than 200V.

[0013]

[Function] It became clear wholeheartedly that the cause of generating of PURIPARUSU is what is depended on elastic reflection as a result of research. Although this is explained in full detail in the following, it is because a photoelectron carries out elastic reflection by the 1st step dynode and carries out incidence to the 2nd step dynode. Since it is accelerated according to the potential difference between photoelectric cathode and the 1st step dynode, the photoelectron which carries out incidence to the 2nd step dynode has big energy compared with the secondary electron which it is emitted from the 1st step dynode and carries out incidence to the 2nd step dynode. In the property of the usual dynode, it is in the inclination for the secondary-electron-emission ratio of a dynode to also increase, so that the energy of the electron which carries out incidence increases. In this point and this invention, since the secondary-electron-emission ratio of the 2nd step dynode is saturated mostly, even if a photoelectron with big energy carries out incidence, a secondary-electron-emission ratio does not change a lot. For this reason, the effect of the photoelectron leading to [of PURIPARUSU] generating which has big energy by elastic reflection is mitigated.

[0014] Moreover, the dynode of the property in which the secondary-electron-emission ratio to applied voltage was mostly saturated with forming the 2nd step dynode with the ingredient hung up by claims 2 and 3 is obtained.

[0015] Moreover, it acts so that time difference with the photoelectron which the transit time of the secondary electron which goes to the 2nd step dynode from the 1st step dynode becomes short, and carries out elastic reflection and which carries out incidence to the 2nd step dynode by using the potential difference between the 1st step dynode and the 2nd step dynode, increasing more than 200V, i.e., the potential difference in the meantime, may decrease.

[0016]

[Example] In advance of an example, the cause of generating of PURIPARUSU mentioned above is explained (refer to drawing 4).

[0017] First, TTS (TransitTime Spread) of the 8 inches photomultiplier tube illustrated by explanation of the conventional technique was investigated in detail in the single photon event. consequently, the thing for which distribution with the about 5 - 6ns quick electron transit time is detected compared with the electron distribution of the Maine pulse -- it is (PURIPARUSU) -- this -- the Maine pulse -- receiving -- about -- it was detected by 1/100 of probabilities. In addition, the electron distribution with the electron transit time about 5 - 6ns quick in this way was conventionally considered to be a part of electron distribution formed by the Maine pulse.

[0018] Then, an incidence photon is made to increase, 40 photoelectrons are emitted on an average from photoelectric cathode 101, and this formed the Maine pulse. Consequently, the above-mentioned electron distribution detected by the probability of 100 about 1/to the Maine pulse was detected by the probability of the 40 times as many abbreviation 40/100 as this.

[0019] It can consider as follows than this result. The appearance probability should become fixed even if it will increase an incidence photon, if it is a part of Maine pulse this electron distribution was conventionally considered to be. However, compared with the electron distribution of the Maine pulse, about 5 - 6ns quick electron distribution is increasing in proportion [almost] to the number of incidence photons, and it is thought that it is not a part of Maine pulse clearly.

[0020] Moreover, as already explained, photoelectric cathode 101 is penetrated, and supposing PURIPASURU occurs because light carries out incidence to the 1st step dynode Dy1 directly, PURIPARUSU will appear 20.56ns before the Maine pulse, and will not be considered that the above-mentioned electron distribution occurred based on this phenomenon.

[0021] The incidence photoelectron based on the above result carried out elastic reflection at the 1st step dynode Dy1, incidence was carried out to the 2nd step dynode Dy2, and this expected that it became a cause and PURIPARUSU occurred. The result of the following (1) - (3) is obtained by performing such anticipation.

[0022] (1) The electron transit time is mostly in agreement with actual measured value. First, the electron transit time required by the 3rd step dynode Dy3 is found. As for the electron which forms the Maine pulse, from the photoelectric cathode 101 to the 1st step dynode Dy1 is set [from the 2nd step dynode Dy2 to the 3rd step dynode Dy3] to 3ns by from the 1st step dynode Dy1 to the 2nd step dynode Dy2 for 8ns for 21ns, and the electron transit time of the sum total to the 3rd step dynode Dy3 is set to 32ns from photoelectric cathode 101.

[0023] On the other hand, if the photoelectron which carried out incidence to the 1st step dynode Dy1 carries out elastic reflection, the electron transit time from the 1st step dynode Dy1 to the 2nd step dynode Dy2 will be set to 3ns. The initial velocity of the photoelectron at the time of carrying out elastic reflection by the 1st step dynode Dy1, and going to the 2nd step dynode Dy2 is size compared with the initial velocity of the secondary electron emitted from the 1st step dynode Dy1, and this is because the electron transit time is shortened at this rate. Moreover, the time amount required between photoelectric cathode 101 and the 1st step dynode Dy1 and between the 2nd step dynode Dy2 and the 3rd step dynode Dy3 is the same as the aforementioned numeric value, and the electron transit time of the sum total to the 3rd step dynode Dy3 is set to 27ns from photoelectric cathode 101.

[0024] Thus, if it calculates by assuming, the pulse electron distribution (PURIPARUSU) by elastic reflection will appear 5ns before the Maine pulse, and will carry out abbreviation coincidence with the actual measurement result mentioned above.

[0025] (2) If the number of photons is made to increase, the ratio of PURIPARUSU and the Maine pulse will increase. The photoelectron which carries out elastic reflection by the 1st step dynode Dy1 and which carries out incidence to the 2nd step dynode Dy2 is usually about 10% of an incidence electron (the probability of occurrence is 1/10). Furthermore, the probability which reflects by the 1st step dynode Dy1, and is incorporated to the 2nd step dynode Dy2 is also about 1/10. For this reason, in a single photon event, the probability to originate in elastic reflection and for an output pulse to occur becomes about 1/100, and is mostly in agreement with the observation result of having also mentioned this value above.

[0026] Furthermore, in the single photon event, although it generated according to 1/100 of probabilities as mentioned above, when the pulse with the electron distribution of 5ns ago makes 40 photoelectrons emit and formed the Maine pulse now, it was checked by measurement with actual this PURIPARUSU occurring 40 times in 100 times. This is considered to be because for the number of the electrons which carry out elastic reflection to have increased by the increment in the number of photoelectrons.

[0027] (3) If LLD (Lower Level Discrimination Level) is raised to the amount of charges of the Maine pulse, the electron distribution generated 5ns before the Maine pulse will no longer be detected. Thereby, it turns out that the amount of charges of the electron distribution generated 5ns before the Maine pulse is smaller than the amount of charges of the Maine pulse. Since there is no multiplication in the 1st step dynode Dy1 when elastic reflection is taken into consideration, this is considered to become a value smaller than the Maine pulse.

[0028] Like the above (1) - (3), the result by which each of electron transit times, probability of occurrence, and amounts of charges is obtained from the above-mentioned anticipation carried out abbreviation coincidence with actual measured value. Therefore, it turned out that it generates because the photoelectron which carries out incidence carries out elastic reflection of the electron distribution generated 5ns before the Maine pulse in the 1st step dynode Dy1.

[0029] The structure of the photomultiplier tube etc. is explained below a <example>. The cross section of the photomultiplier tube built over drawing 1 at this example is shown. This photo-multiplier forms the vacuum housing by the stem 3 of the cylindrical shape which constitutes the light-receiving side 1, the globular form bulb 2, and globular form pedestal which receive incident light. Moreover, photoelectric cathode 5 is formed, the light which carries out incidence through the light-receiving side 1 is irradiated by photoelectric cathode 5, and a photoelectron is emitted to the wall of the light-receiving side 1 from a light-receiving part. Moreover, the electron multiplier 6 which carries out multiplication of the emitted photoelectron is arranged in photoelectric cathode 5 and the location which countered.

[0030] An electron multiplier 6 is expanded and shown in drawing 2. The electron multiplier 6 is equipped with the focal electrode 7 as which the orbit of the photoelectron emitted from photoelectric cathode 5 is completed, and has formed the mesh-like mesh electrode 9 in incidence opening 7a of the center. These focus electrode 7 and the mesh electrode 9 of each other are connected electrically, and potential higher than the 1st step dynode Dy1 is given.

[0031] Moreover, it converges with the focal electrode 7 and incidence of the photoelectron which countered incidence opening 7a, was arranging the 1st step dynode Dy1, and was emitted from photoelectric

cathode 5 is carried out to the 1st step dynode. In addition, between the mesh electrode 9 and the 1st step dynode Dy1, rod-like the pole electrode 10 and the plate-like plate electrode 11 which are perpendicularly prolonged to space are arranged. moreover, the dynode Dy1 -- countering -- the 2nd step dynode Dy2 -- arranging -- **** -- the dynodes Dy3 and Dy4 after the 3rd step -- the dynode group Dy of the Rhine focus mold is constituted in ..

[0032] Potential higher than the 1st step dynode gives the electron emitted from the 1st step dynode Dy1, and it is led to the 2nd step dynode Dy2 with ****, the mesh electrode 9, the pole electrode 10, and the plate electrode 11. And incidence of the electron emitted from the 2nd step dynode Dy2 is carried out to the 3rd step dynode Dy3, henceforth, cascade multiplication is carried out by the latter dynode one after another, and an output is taken out from the anode electrode 12.

[0033] moreover, each electrodes 9, 10, and 11 and the dynodes Dy1, Dy3, and Dy4 of each stage -- the dynodes Dy1 and Dy3 of the other stages each ... is formed for the stainless steel material, and excluding the 2nd step dynode Dy2 .. vapor-deposits Sb to the field of the inside, and secondary-electron-emission Men is formed. Moreover, although the 2nd step dynode Dy2 as well as other dynodes is formed for the stainless steel material, vacuum evaporatio of Sb is omitted. In addition, in this case, the potential difference of the 1st step dynode Dy1 and the 2nd step dynode Dy2 is 249V, and with the common photomultiplier tube, the potential difference in the meantime is about 100V, and it is set as the twice [more than] as many potential difference as the common photomultiplier tube at this example.

[0034] Here, transition of the secondary-electron-emission ratio delta to energy change of a primary electron which carries out incidence is shown in drawing 3 about the dynode which vapor-deposited the usual Sb, and a dynode with a stainless steel material (only the 2nd step dynode). In addition, an axis of abscissa shows among drawing the electrical potential difference (V) impressed to an electron, and an axis of abscissa shows the secondary-electron-emission ratio delta. Moreover, the V-delta curve of the dynode which vapor-deposited Sb is described as "a V-delta curve of Sb" all over drawing, and the V-delta curve of a dynode with a stainless steel material is described as "the V-delta curve of SUS."

[0035] As shown in drawing, the dynode which vapor-deposited the usual Sb is in the inclination which takes to this and the secondary-electron-emission ratio delta increases greatly gradually, when the energy of the electron which carries out incidence increases. the increment in the secondary-electron-emission ratio delta which corresponds on the other hand by the dynode with a stainless steel material like the 2nd step dynode of this example even if the energy of the primary electron which carries out incidence increases -- **** -- it is small. This shows the so-called saturation characteristics. If the energy of a primary electron exceeds about 400eV especially, the secondary-electron-emission ratio delta is abbreviation regularity.

[0036] Here, an operation when the secondary-electron-emission ratio delta uses the dynode which shows saturation characteristics as the 2nd step dynode in this way is explained as compared with the case of the usual Sb vacuum evaporatio dynode.

[0037] Then, in a single photon event, it asks for the period until it carries out incidence to the 3rd step dynode Dy3 by count about the electron number ratio of PURIPARUSU to the Maine pulse.

[0038] First, suppose that 900V are impressed to the 1st step dynode Dy1 at 800V and the 2nd step dynode Dy2 supposing the case where the usual Sb vacuum evaporatio dynode is used in a whole page. In this case, the secondary-electron-emission ratio delta in the 1st step dynode Dy1 is set to "24" from the graph of drawing 3 . Moreover, since the potential difference of the 1st step dynode and the 2nd step dynode is 100V, the secondary-electron-emission ratio delta in the 2nd step dynode Dy2 is set to "5" from the graph of drawing 3 . Therefore, the Maine pulse generated at this time is set to $24 \times 5 = 120$. Moreover, if the elastic reflection mentioned above is taken into consideration, the electron accelerated by 800V will carry out elastic reflection by the 1st step dynode, and will be accelerated by the pan by 2nd step dynode 900v. Therefore, the secondary-electron-emission ratio delta of the 2nd step dynode Dy2 is set to "24.5", and this serves as PURIPARUSU. Therefore, $\text{PURIPARUSU} / \text{Maine pulse} =$ it is set to $24.5 / 120 \times 0.2$.

[0039] On the other hand, suppose that 1049V are impressed to the 1st step dynode Dy1 at 800V and the 2nd step dynode Dy2 supposing the case where the secondary-electron-emission ratio delta uses the dynode which shows saturation characteristics for the 2nd step dynode like this example. In this case, the secondary-electron-emission ratio delta in the 1st step dynode Dy1 is "25" from the graph of drawing 3 . Moreover, the potential difference of the 1st step dynode and the 2nd step dynode is 249V, and the secondary-electron-emission ratio delta in the 2nd step dynode Dy2 is set to "4" from the graph of drawing 3 . Therefore, the Maine pulse generated at this time is set to $25 \times 4 = 100$. Moreover, if the elastic reflection mentioned above is taken into consideration, the electron accelerated by 800V will carry out elastic reflection by the 1st step dynode, and will be accelerated by the pan by 2nd step dynode 1049v. Therefore, the secondary-electron-

emission ratio delta of the 2nd step dynode Dy2 is set to "5", and this serves as PURIPARUSU from the graph of drawing 3 . Therefore, PURIPARUSU / Maine pulse = it is set to $5 / 100 = 0.05$.

[0040] 0, then PURIPARUSU at the time of a single photon will decrease LLD to $0.05/0.2 = 1/4$ because the secondary-electron-emission ratio delta uses the dynode which shows saturation characteristics for the 2nd step dynode Dy2 from the above result.

[0041] Moreover, it is PURIPARUSU / Maine pulse = 0.05, and if LLD is set to about ten percent of the Maine pulse, PURIPARUSU is fully removable [in the conventional photomultiplier tube, in order to remove PURIPARUSU, it was required to set LLD to twenty percent or more of the Maine pulse, but] with the photomultiplier tube of this example. Therefore, with the photomultiplier tube constituted in this way, LLD can be lowered as a result, and in covering the large range from a single photon to hundreds photons and detecting light by this, it becomes detectable [a feeble light] by lowering LLD conventionally. Moreover, even if the number of photons PURIPARUSU carries out [the number] incidence to photoelectric cathode by becoming the order of 1/hundreds of the Maine pulse increases, by $1/N^{0.5}$ (N is the number of photons), TTS decreases and does not increase.

[0042] Furthermore, it is also possible to use it in the photomultiplier tube of this example more than [compared with the conventional common photomultiplier tube, it becomes more than twice] 200V, setting up the potential difference between the 1st step dynode Dy1 and the 2nd step dynode Dy2. Thereby, the transit time of the secondary electron which goes to the 2nd step dynode from the 1st step dynode becomes short, and since time difference with the photoelectron which carries out elastic reflection and which carries out incidence to the 2nd step dynode decreases, the variation in the electron transit time can be reduced.

[0043] Although the example explained above showed the example which forms the 2nd step dynode Dy2 for a stainless steel material, since an almost equivalent property is shown even if it is which stainless steel classified according to an SUS notation, this stainless steel can be applied as the 2nd step dynode. Moreover, the property mostly saturated to the energy of the electron with which the secondary-electron-emission ratio delta of the metal of aluminum, Cu, Be, nickel, Fe, Mo, and W shows and carries out incidence of the almost same transition as the stainless steel in drawing 3 besides such stainless steel is shown. Therefore, the same effectiveness is acquired also when the 2nd step dynode is formed with such a metal.

[0044] Furthermore, also when a thin film is vapor-deposited and a dynode is formed on a conductive substrate with one metal of aluminum, C, Cr, Fe, Zn, nickel, and W, since the secondary-electron-emission ratio delta shows the almost same transition as the stainless steel in drawing 3 , it can be used as the 2nd step dynode in this example.

[0045] In addition, it is also possible to form dynodes other than the 2nd step dynode by the semi-conductor dynode, for example, secondary-electron-emission Men may be formed with semi-conductors, such as GaAs and GaIn.

[0046]

[Effect of the Invention] Since it has the property that the secondary-electron-emission ratio of the 2nd step dynode is saturated mostly according to the photomultiplier tube concerning this invention as explained above, even if the electron with which incidence energy differs greatly carries out incidence, the secondary-electron-emission ratio of the 2nd step dynode does not change a lot. For this reason, it becomes possible to reduce generating of PURIPARUSU produced because an electron carries out incidence with the big energy by elastic reflection.

[Translation done.]

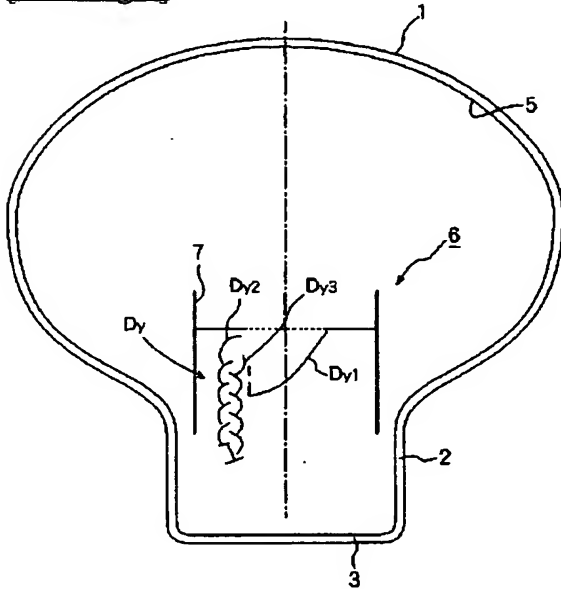
* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

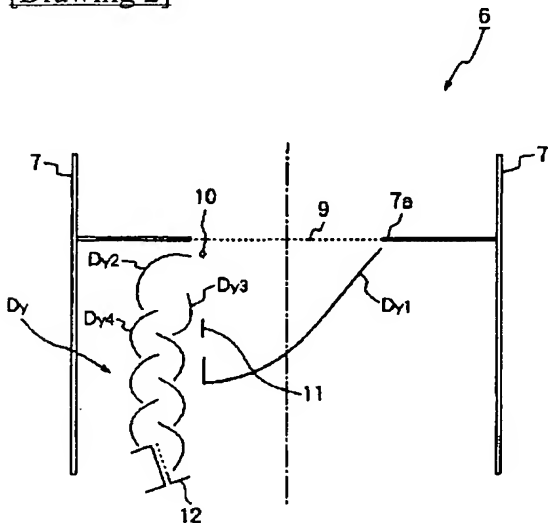
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

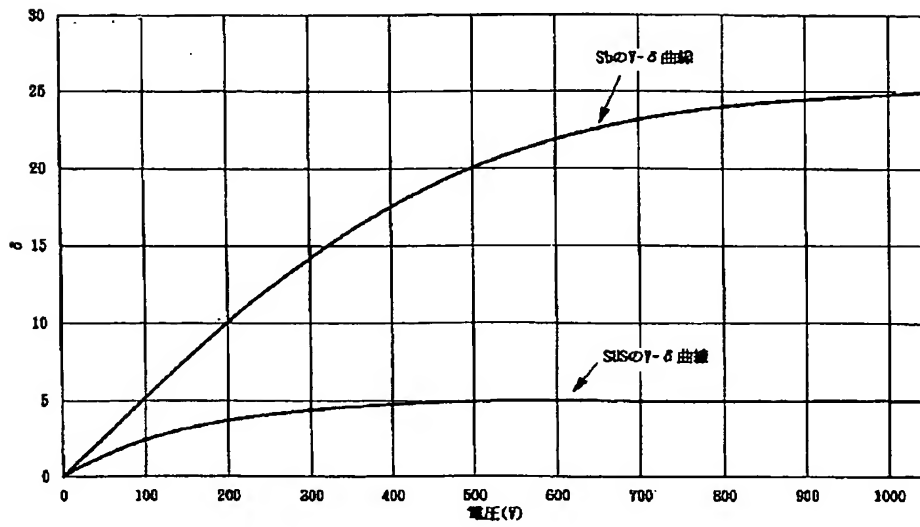
[Drawing 1]



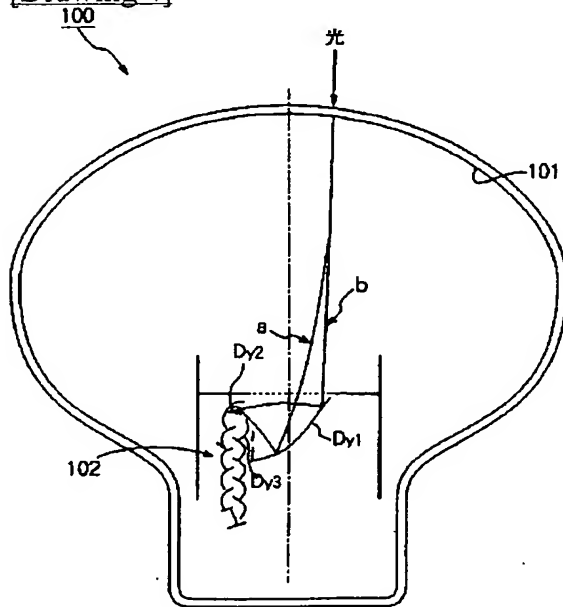
[Drawing 2]



[Drawing 3]

SbとSISの γ - δ 曲線

[Drawing 4]







[Translation done.]

PHOTOMULTIPLIER

Patent number: JP9035680
Publication date: 1997-02-07
Inventor: KUSHIMA HIROYUKI; OMURA TAKAYUKI;
NAKAMURA KOJI; KIMURA SUENORI; OHASHI
YOSUKE; ITO MASUYASU
Applicant: HAMAMATSU PHOTONICS KK
Classification:
- **international:** H01J43/20
- **european:**
Application number: JP19950184022 19950720
Priority number(s):

Also published as:

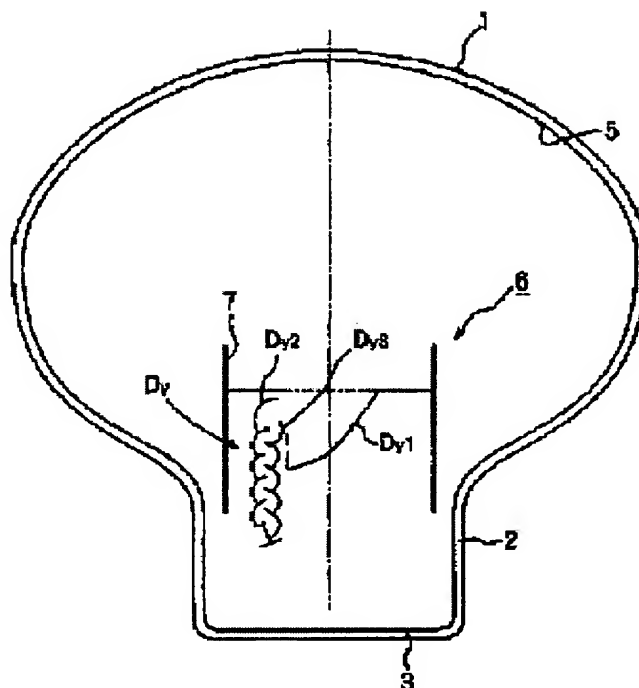
 EP0755065 (A)
 US5736731 (A)
 EP0755065 (A)
 EP0755065 (B)

Report a data error he

Abstract of JP9035680

PROBLEM TO BE SOLVED: To retard the generation of a pre-pulse by forming a second step dynode facing a first step dynode with a material having such a property that secondary electron irradiating ratio to applied voltage is almost saturated in an electron multiplier part of a photomultiplier.

SOLUTION: A photomultiplier receives incident light with a photo-electric cathode 5 to irradiate a photo-electron, and sequentially cascade-multiplies irradiated photo-electron with a plurality of dynodes Dy in an electron-multiplier part 6. In the electron-multiplier part 6, a second step dynode Dy2 in which a photo-electron irradiated from a first step dynode Dy1 is formed with a material having such a property that secondary electron irradiating ratio to applied voltage is almost saturated. This material is either one of Al, Cu, Be, Ni, Fe, Mo, W, and stainless steel. The photomultiplier capable of retarding the generation of prepulse is obtained.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-35680

(43) 公開日 平成9年(1997)2月7日

(51) Int.Cl.⁸

H 0 1 J 43/20

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 J 43/20

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平7-184022

(22) 出願日 平成7年(1995)7月20日

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 久嶋 浩之

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72) 発明者 大村 孝幸

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72) 発明者 中村 公嗣

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

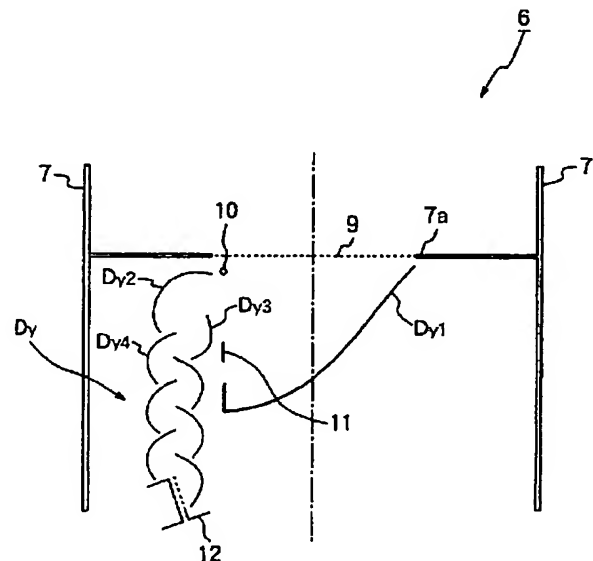
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光電子増倍管

(57) 【要約】

【目的】 プリパルスの発生を抑制する。

【構成】 この光電子増倍管は、電子増倍部6を構成するダイノードのうち、第1段ダイノードD_y1に対向する第2段ダイノードD_y2を、印加電圧に対する2次電子放出比がほぼ飽和する特性の材質で形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入射する光を受けて光電子を放出する光電陰極と、

放出された前記光電子を順にカスケード増倍する電子増倍部とを備えた光電子増倍管であって、

前記電子増倍部は、

前記光電陰極から放出された光電子が入射する第1段ダイノードと、

前記第1段ダイノードから放出された電子が入射する第2段ダイノードとを備えており、

前記第2段ダイノードは、印加電圧に対する2次電子放出比がほぼ飽和する特性を有することを特徴とする光電子増倍管。

【請求項2】 前記第2段ダイノードは、Al、Cu、Be、Ni、Fe、Mo、W及びステンレス鋼のうち、いずれかの材質で形成されることを特徴とする請求項1記載の光電子増倍管。

【請求項3】 前記第2段ダイノードは、導電性基板上に、Al、C、Cr、Fe、Zn、Ni、Wのうち、いずれかの材質によって薄膜を形成してなることを特徴とする請求項1記載の光電子増倍管。

【請求項4】 使用時における前記第1段ダイノードと第2段ダイノードとの間の電位差が、200V以上である請求項1～3のいずれかに記載の光電子増倍管。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、入射する光電子を複数段のダイノードで増倍する光電子増倍管に関する。

【0002】

【従来の技術】このような電子増倍管（特公昭58-41622号など）では、レーザパルスを検出する場合など、光電子増倍管をパルス検出モードで動作させた場合、信号に対する出力パルス（メインパルス）が検出される直前に、小さな疑似パルスが検出されることがある。この疑似パルスはブリバルスとよばれており、TTS（Transit Time Spread）を悪化させる原因の1つとなっている。

【0003】従来、このブリバルスの発生原因は、以下のように考えられていた（図4）。光電子増倍管100にパルス光が入射すると、光電陰極101において電子に変換されて軌道aを進み、第1段ダイノードDy1に衝突する。光電子増倍管100の直径を8インチとすると、この電子は、光電陰極101から第1段ダイノードDy1までを約21nsecで走行する。第1段ダイノードDy1に衝突した電子は、ここで2次電子を発生させる。発生された2次電子は、第2段ダイノードDy2以降の電子増倍部102において次々に増倍され、前述したメインパルスとして出力される。

【0004】一方、ブリバルスは、入射したパルス光が光電陰極101を透過することで発生すると考えられて

いた。この場合、光子として軌道b（直進）を進むため、光電陰極101から第1段ダイノードDy1までを、約0.44nsecで走行する。そして、光子として第1段ダイノードDy1に衝突し、ここで2次電子を発生させる。発生された2次電子は、以降の電子増倍部102において次々に増倍され、ブリバルスとして出力される。

【0005】このような原因によって発生するブリバルスは、メインパルスの20.56nsec前に現れることになる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】そこで、このようなブリバルスを低減させるため、光電陰極101を透過して、直接第1段ダイノードDy1に入射する光子を除去すべく、遮光するなどの対策を講じたが、ブリバルスの発生を抑制することはできなかった。

【0007】本発明は、このような課題を解決すべくなされたものであり、その目的は、このブリバルスの発生原因を特定すると共に、この発生原因を踏まえて、ブリバルスの発生を抑制し得る光電子増倍管を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】そこで、請求項1にかかる光電子増倍管では、光電陰極から放出された光電子をカスケード増倍する電子増倍部を備えた光電子増倍管のうち、光電子が入射する第1段ダイノードの次段となる第2段ダイノードを、印加電圧に対する2次電子放出比がほぼ飽和する特性の材質で形成する。

【0009】なお、通常、ダイノードに入射する電子のエネルギーが増大するほど、2次電子放出比も増大する傾向にあるが、上記した「2次電子放出比がほぼ飽和する特性」とは、大きなエネルギーの電子が入射した場合にも、2次電子放出比が大きく変化しない特性をいう。

【0010】請求項2にかかる光電子増倍管では、このような特性を有する材質として、Al、Cu、Be、Ni、Fe、Mo、W及びステンレス鋼が挙げられ、これらのうちいずれかの材質で第2段ダイノードを形成する。

【0011】請求項3にかかる光電子増倍管では、導電性基板上に、Al、C、Cr、Fe、Zn、Ni、Wのうちいずれかの材質によって薄膜を形成することで、上記した特性の第2段ダイノードを構成する。

【0012】請求項4にかかる光電子増倍管では、第1段ダイノードと第2段ダイノードとの間の電位差を200V以上として使用する。

【0013】

【作用】鋭意研究の結果、ブリバルスの発生原因は弾性反射によるものであることが明らかになった。これは下記において詳述するが、光電子が第1段ダイノードで弾性反射して第2段ダイノードに入射することによるもの

10

20

30

40

50

である。第2段ダイノードに入射する光電子は、光電陰極と第1段ダイノードとの間の電位差によって加速されるため、第1段ダイノードから放出されて第2段ダイノードに入射する2次電子に比べて大きなエネルギーを持っている。通常のダイノードの特性では、入射する電子のエネルギーが増大するほど、ダイノードの2次電子放出比も増大する傾向にある。この点、本発明では、第2段ダイノードの2次電子放出比がほぼ飽和しているため、大きなエネルギーを持った光電子が入射しても、2次電子放出比が大きく変化することはない。このため、ブリバルスの発生原因となっていた、弾性反射によって大きなエネルギーを持つ光電子の影響が軽減される。

【0014】また、第2段ダイノードを、請求項2、3で掲げた材料によって形成することで、印加電圧に対する2次電子放出比がほぼ飽和した特性のダイノードが得られる。

【0015】また、第1段ダイノードと第2段ダイノードとの間の電位差を200V以上、すなわち、この間の電位差を増大させて使用することで、第1段ダイノードから第2段ダイノードへ向かう2次電子の走行時間が短くなり、弾性反射して第2段ダイノードへ入射する光電子との時間差が減少するように作用する。

【0016】

【実施例】実施例に先立ち、上述したブリバルスの発生原因について説明する（図4参照）。

【0017】まず、従来技術の説明で例示した8インチの光電子増倍管のTTS（TransitTime Spread）をシングルフォトンイベントにおいて詳しく調べた。その結果、メインパルスの電子分布に比べ、電子走行時間が約5～6nsec速い分布が検出されることがあり（ブリバルス）、これは、メインパルスに対して約1/100の確率で検出された。なお、従来、このように電子走行時間が約5～6nsec速い電子分布は、メインパルスで形成された電子分布の一部と考えられていた。

【0018】そこで、入射フォトンを増加させて、光電陰極101から平均で40個の光電子が放出され、これがメインパルスを形成するようにした。この結果、メインパルスに対して約1/100の確率で検出された上記の電子分布が、40倍の約40/100の確率で検出された。

【0019】この結果より、次のように考察できる。この電子分布が従来考えられていたようなメインパルスの一部であれば、入射フォトンを増やしたとしても、出現確率は一定となるはずである。しかし、メインパルスの電子分布に比べ約5～6nsec速い電子分布は、入射フォトン数にほぼ比例して増加しており、明らかにメインパルスの一部ではないと考えられる。

【0020】また、既に説明したように、光電陰極101を透過して、直接第1段ダイノードDy1に光が入射することでブリバルスが発生したとすると、ブリバルス

は、メインパルスの20.56nsec前に現れることになり、この現象に基づいて、上記の電子分布が発生したものとは考えられない。

【0021】以上の結果を基に、第1段ダイノードDy1に入射した光電子が弾性反射して第2段ダイノードDy2に入射し、これが原因となってブリバルスが発生すると予想した。このような予想を行うことで、以下の（1）～（3）の結果が得られる。

【0022】（1）電子走行時間が実際の測定値とほぼ一致する。まず、第3段ダイノードDy3までに要される電子走行時間を求める。メインパルスを形成する電子は、光電陰極101から第1段ダイノードDy1までが21nsec、第1段ダイノードDy1から第2段ダイノードDy2までが8nsec、第2段ダイノードDy2から第3段ダイノードDy3までが3nsecとなり、光電陰極101から第3段ダイノードDy3までの合計の電子走行時間は32nsecとなる。

【0023】一方、第1段ダイノードDy1に入射した光電子が弾性反射すると、第1段ダイノードDy1から第2段ダイノードDy2までの電子走行時間が3nsecとなる。これは、第1段ダイノードDy1で弾性反射し第2段ダイノードDy2へ向かう際の光電子の初速度が、第1段ダイノードDy1から放出される2次電子の初速度に比べて大であり、この分、電子走行時間が短縮されるためである。また、光電陰極101と第1段ダイノードDy1との間、及び、第2段ダイノードDy2と第3段ダイノードDy3との間に要する時間は、前記の数値と同じであり、光電陰極101から第3段ダイノードDy3までの合計の電子走行時間は27nsecとなる。

【0024】このように想定して計算を行うと、弾性反射によるパルス電子分布（ブリバルス）がメインパルスの5nsec前に現れることとなり、前述した実際の測定結果と略一致する。

【0025】（2）フォトン数を増加させると、ブリバルスとメインパルスの比が増加する。第1段ダイノードDy1で弾性反射して第2段ダイノードDy2へ入射する光電子は、通常、入射電子の10%程度である（発生確率が1/10）。さらに、第1段ダイノードDy1で反射して第2段ダイノードDy2へ取り込まれる確率も1/10程度である。このため、シングルフォトンイベントにおいて、弾性反射に起因して出力パルスが発生する確率は1/100程度となり、この値も前述した実測結果とはほぼ一致する。

【0026】さらに、シングルフォトンイベントでは、5nsec前の電子分布を持つパルスは、上記のように1/100の確率で発生するが、40個の光電子を放出させ、これでメインパルスを形成するようにしたところ、このブリバルスが100回中に40回発生することが実際の測定で確認された。これは光電子数の増加により、弾性反射する電子の数が増加したためであると考えられ

る。

【0027】(3) LLD (Lower Level Discrimination Level) をメインパルスの電荷量まで上げると、メインパルスの5 nsec前に発生する電子分布は検出されなくなる。これにより、メインパルスの5 nsec前に発生する電子分布の電荷量は、メインパルスの電荷量よりも小さいことが分かる。これは、弾性反射を考慮すると、第1段ダイノードDy1における増倍がないために、メインパルスよりも小さな値となると考えられる。

【0028】以上の(1)～(3)のように、電子走行時間、発生確率及び電荷量が、いずれも前述の予想から得られる結果が、実際の測定値と略一致した。したがって、メインパルスの5 nsec前に発生する電子分布は、入射する光電子が第1段ダイノードDy1において弾性反射することで発生することが判った。

【0029】<実施例>以下、光電子増倍管の構造等について説明する。図1に、本実施例にかかる光電子増倍管の断面を示す。この光電子増倍管は、入射光を受ける球形の受光面1、バルブ2及び基台部を構成する円筒形のステム3によって真空容器を形成している。また、受光面1の内壁には、光電陰極5を形成しており、受光面1を介して入射する光が光電陰極5に照射され、受光部位から光電子が放出される。また、光電陰極5と対向した位置には、放出された光電子を増倍する電子増倍部6を配設している。

【0030】図2に電子増倍部6を拡大して示す。電子増倍部6は、光電陰極5から放出された光電子の軌道を収束させるフォーカス電極7を備えており、その中央の入射開口部7aには、網目状のメッシュ電極9を設けている。これらフォーカス電極7とメッシュ電極9とは互いに電気的に接続され、第1段ダイノードDy1よりも高い電位が与えられる。

【0031】また、入射開口部7aに対向して第1段ダイノードDy1を配設しており、光電陰極5から放出された光電子は、フォーカス電極7により収束されて第1段ダイノードに入射する。なお、メッシュ電極9と第1段ダイノードDy1との間には、紙面に対して垂直方向に延びる棒状のボール電極10及び平板状のプレート電極11を配設している。また、ダイノードDy1に対向して第2段ダイノードDy2を配置しており、第3段以降のダイノードDy3、Dy4・・・と共にラインフォーカス型のダイノード群Dyを構成している。

【0032】第1段ダイノードDy1から放出された電子は、第1段ダイノードよりも高い電位が与えられた、メッシュ電極9、ボール電極10及びプレート電極11によって第2段ダイノードDy2に導かれる。そして、第2段ダイノードDy2から放出された電子は、第3段ダイノードDy3に入射し、以降、次々と後段のダイノードでカスケード増倍され、アノード電極12より出力が取り出される。

【0033】また、各電極9、10、11及び各段のダイノードDy1、Dy3、Dy4・・・は、いずれもステンレス素材で形成されており、第2段ダイノードDy2を除く他段のダイノードDy1、Dy3・・・は、その内側の面にSbを蒸着して2次電子放出面を形成している。また、第2段ダイノードDy2も、他のダイノードと同様にステンレス素材で形成しているが、Sbの蒸着は行っていない。なお、この場合、第1段ダイノードDy1と第2段ダイノードDy2との電位差は、249Vであり、一般的な光電子増倍管ではこの間の電位差が100V程度であり、本実施例では一般の光電子増倍管の2倍以上の電位差に設定している。

【0034】ここで、通常のSbを蒸着したダイノードとステンレス素材のままのダイノード(第2段ダイノードのみ)につき、入射する1次電子のエネルギー変化に対する2次電子放出比 δ の推移を図3に示す。なお、図中、横軸は電子に印加される電圧(V)を示し、縦軸は2次電子放出比 δ を示す。また、Sbを蒸着したダイノードのV- δ 曲線を、図中に「SbのV- δ 曲線」として記し、ステンレス素材のままのダイノードのV- δ 曲線を「SUSのV- δ 曲線」と記す。

【0035】図に示すように、通常のSbを蒸着したダイノードは、入射する電子のエネルギーが増大すると、これに連れて2次電子放出比 δ も次第に大きく増加する傾向にある。一方、本実施例の第2段ダイノードのようなステンレス素材のままのダイノードでは、入射する1次電子のエネルギーが増加しても、対応する2次電子放出比 δ の増加は極く僅かである。これは、いわゆる飽和特性を示している。特に、1次電子のエネルギーが約400 eVを越えると、2次電子放出比 δ は略一定となっている。

【0036】ここで、このように2次電子放出比 δ が飽和特性を示すダイノードを、第2段ダイノードとして使用した場合の作用を、通常のSb蒸着ダイノードの場合と比較して説明する。

【0037】そこで、シングルフォトンイベントにおいて、メインパルスに対するブリパルスの電子数比につき、第3段ダイノードDy3に入射するまでを計算で求める。

【0038】先ず、通常のSb蒸着ダイノードを全段で使用した場合を想定し、第1段ダイノードDy1に800V、第2段ダイノードDy2に900Vが印加されているとする。この場合、図3のグラフより、第1段ダイノードDy1における2次電子放出比 δ は「24」となる。また、第1段ダイノードと第2段ダイノードとの電位差が100Vであるため、第2段ダイノードDy2での2次電子放出比 δ は、図3のグラフより「5」となる。従って、この時発生するメインパルスは、 $24 \times 5 = 120$ となる。また、前述した弾性反射を考慮すると、800Vで加速された電子が第1段ダイノードで弾

性反射して、さらに第2段ダイノード900Vで加速される。従って、第2段ダイノードDy2の2次電子放出比 δ は「24.5」となり、これがブリバルスとなる。従って、ブリバルス/メインパルス=24.5/120 \approx 0.2となる。

【0039】これに対し、本実施例のように、2次電子放出比 δ が飽和特性を示すダイノードを第2段ダイノードに使用した場合を想定し、第1段ダイノードDy1に800V、第2段ダイノードDy2に1049Vが印加されているとする。この場合、第1段ダイノードDy1での2次電子放出比 δ は、図3のグラフより「25」である。また、第1段ダイノードと第2段ダイノードとの電位差が249Vであり、図3のグラフより、第2段ダイノードDy2での2次電子放出比 δ が「4」となる。従って、この時発生するメインパルスは、 $25 \times 4 = 100$ となる。また、前述した弾性反射を考慮すると、800Vで加速された電子が第1段ダイノードで弾性反射して、さらに第2段ダイノード1049Vで加速される。従って、図3のグラフより、第2段ダイノードDy2の2次電子放出比 δ は「5」となり、これがブリバルスとなる。従って、ブリバルス/メインパルス=5/100=0.05となる。

【0040】以上の結果より、第2段ダイノードDy2に2次電子放出比 δ が飽和特性を示すダイノードを使用することで、LLDを0とすれば、シングルフォトン時のブリバルスは、 $0.05/0.2 = 1/4$ に減少することになる。

【0041】また、従来の光電子増倍管では、ブリバルスを除去するために、LLDをメインパルスの2割以上に設定することが必要であったが、本実施例の光電子増倍管では、ブリバルス/メインパルス=0.05であり、LLDをメインパルスの1割程度に設定すれば、ブリバルスを十分に除去できる。従って、このように構成する光電子増倍管では、結果的にLLDを下げることができ、これによってシングルフォトンから数百フォトンまでの広い範囲に亘って光を検出する場合には、LLDを従来よりも下げることで、より微弱な光の検出が可能となる。また、ブリバルスがメインパルスの数百分の1のオーダーになり、光電陰極に入射するフォトン数が増加しても、TTSは、 $1/N^{0.5}$ （Nはフォトン数）で減少し増加することはない。

【0042】さらに、本実施例の光電子増倍管では、第1段ダイノードDy1と第2段ダイノードDy2との間の電位差を、従来の一般の光電子増倍管に比べて2倍以上となる200V以上に設定して使用することも可能である。これにより、第1段ダイノードから第2段ダイノード

ードへ向かう2次電子の走行時間が短くなり、弾性反射して第2段ダイノードへ入射する光電子との時間差が減少するため、電子走行時間のバラツキを低減させることができる。

【0043】以上説明した実施例では、第2段ダイノードDy2を、ステンレス素材で形成する例を示したが、このステンレス鋼は、SUS記号で分類されるいずれのステンレス鋼であってもほぼ同等の特性を示すため、第2段ダイノードとして適用することが可能である。また、このようなステンレス鋼以外にも、Al, Cu, Be, Ni, Fe, Mo及びWの金属の2次電子放出比 δ も、図3におけるステンレスとほぼ同様な推移を示し、入射する電子のエネルギーに対してほぼ飽和する特性を示す。従って、このような金属によって第2段ダイノードを形成した場合にも、同様の効果が得られる。

【0044】さらに、導電性基板上に、Al, C, Cr, Fe, Zn, Ni, Wのいずれかの金属によって薄膜を蒸着しダイノードを形成した場合にも、2次電子放出比 δ は、図3におけるステンレスとほぼ同様な推移を示すため、本実施例における第2段ダイノードとして使用することが可能である。

【0045】なお、第2段ダイノード以外のダイノードを、半導体ダイノードで形成することも可能であり、例えば、GaAs, GaIn等の半導体で2次電子放出面を形成してもよい。

【0046】

【発明の効果】以上説明したように、本発明にかかる光電子増倍管によれば、第2段ダイノードの2次電子放出比がほぼ飽和する特性を有しているため、入射エネルギーが大きく異なる電子が入射しても、第2段ダイノードの2次電子放出比が大きく変化することはない。このため、弾性反射による、大きなエネルギーを持って電子が入射することで生じていた、ブリバルスの発生を低減することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施例にかかる光電子増倍管の構造を概略的に示す縦断面図である。

【図2】図1の光電子増倍管の要部を取り出して示す拡大図である。

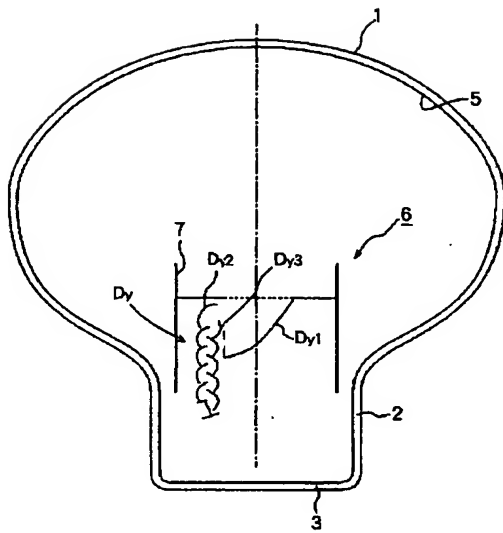
【図3】1次電子の入射エネルギーに対する2次電子放出比 δ を示すグラフである。

【図4】従来の光電子増倍管の構造を概略的に示す縦断面図である。

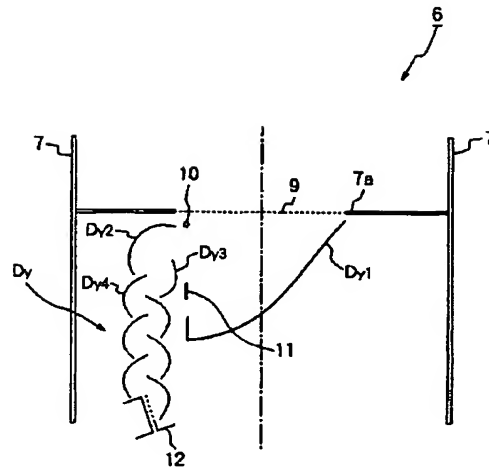
【符号の説明】

1…光電面、5…光電陰極、6…電子増倍部、Dy1…第1段ダイノード、Dy2…第2段ダイノード。

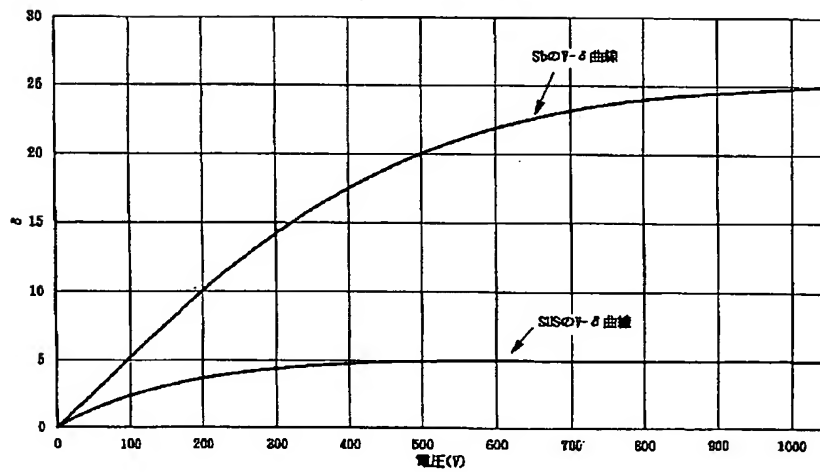
【圖 1】



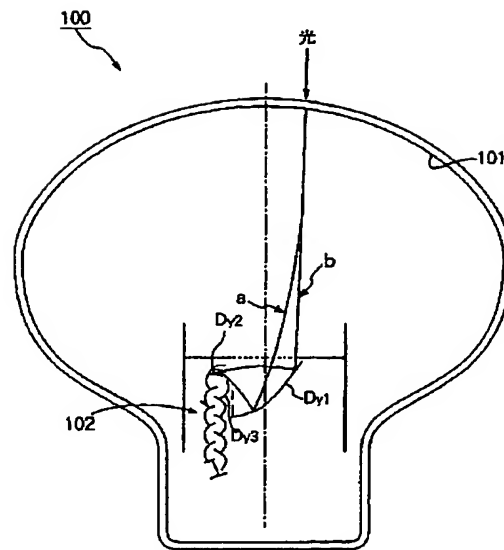
【図 2】



【図3】

SbとSISの γ - δ 曲線

【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 木村 末則
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72)発明者 大橋 洋祐
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72)発明者 伊藤 益保
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内